



ADAMS & WILKS

ATTORNEYS AND COUNSELORS AT LAW
17 BATTERY PLACE
SUITE 1231
NEW YORK, NEW YORK 10004

BRUCE L. ADAMS
VAN C. WILKS*

JOHN R. BENEFIEL*
FRANCO S. DE LIGUORI*
TAKESHI NISHIDA

*NOT ADMITTED IN NEW YORK
*REGISTERED PATENT AGENT

RIGGS T. STEWART
(1924-1993)

TELEPHONE
(212) 809-3700

FACSIMILE
(212) 809-3704

August 17, 2007

Mail Stop Issue Fee
COMMISSIONER FOR PATENTS
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Re: Patent Application
of Toshio KODAMA et al.
Appln. No. 10/525,311

Filing Date: April 18, 2005
Docket No. S005-5460 (PCT)

S I R:

The above-identified application was filed claiming the right of priority based on the following foreign application(s).

Japanese Patent Appln. No. 2002-243210 filed August 23, 2002

Certified copy(s) are annexed hereto and it is requested that these document(s) be placed in the file and made of record.

Respectfully submitted,

ADAMS & WILKS
Attorneys for Applicant(s)

By: 

Bruce L. Adams
Reg. No. 25,386

MAILING CERTIFICATE

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as first-class mail in an envelope addressed to: Mail Stop Issue Fee, COMMISSIONER FOR PATENTS, P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia, 22313-1450, on the date indicated below.

Thomas Tolve

Name



Signature

August 17, 2007

Date

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 8 月 2 3 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 2 4 3 2 1 0
Application Number:

パリ条約による外国への出願
に用いる優先権の主張の基礎
となる出願の国コードと出願
番号

the country code and number
of your priority application,
to be used for filing abroad
under the Paris Convention, is

J P 2 0 0 2 - 2 4 3 2 1 0

願 人 エスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社
Applicant(s):

2 0 0 7 年 7 月 5 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

中 嶋



出証番号 出証特 2 0 0 7 - 3 0 4 9 4 4 1

【書類名】 特許願

【整理番号】 02000677

【提出日】 平成14年 8月23日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/768

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セイコーインス
ツルメンツ株式会社内

【氏名】 児玉 俊男

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セイコーインス
ツルメンツ株式会社内

【氏名】 荷田 昌克

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セイコーインス
ツルメンツ株式会社内

【氏名】 藤井 利昭

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セイコーインス
ツルメンツ株式会社内

【氏名】 岩崎 浩二

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セイコーインス
ツルメンツ株式会社内

【氏名】 杉山 安彦

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セイコーインス
ツルメンツ株式会社内

【氏名】 高木 康行



【特許出願人】

【識別番号】 000002325

【氏名又は名称】 セイコーインスツルメンツ株式会社

【代表者】 入江 昭夫

【代理人】

【識別番号】 100096378

【弁理士】

【氏名又は名称】 坂上 正明

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008246

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0103799

【プルーフの要否】 不要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 イオンビーム装置およびイオンビーム加工方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 試料の特定部位に所定の液体金属イオンビームを照射して断面を形成する液体金属イオンビーム照射手段と、

所定のビーム径に集束した気体イオンビームで前記断面の所定の領域を走査して、該所定の領域上のダメージ層を除去する気体イオンビーム照射手段とを有することを特徴とするイオンビーム装置。

【請求項 2】 前記気体イオンビームの前記断面上におけるビームスポットの大きさが、前記断面の大きさより小さいことを特徴とする請求項 1 に記載のイオンビーム装置。

【請求項 3】 前記気体イオンビームの前記断面上におけるビームスポットの大きさが、前記所定の領域の大きさより小さいことを特徴とする請求項 1 に記載のイオンビーム装置。

【請求項 4】 前記気体イオンビーム照射手段は、前記気体イオンビームが前記断面に対して略垂直または斜めに入射するように構成されていることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載のイオンビーム装置。

【請求項 5】 前記気体イオンビームは、不活性ガスイオンビームであることを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載のイオンビーム装置。

【請求項 6】 電子ビームで前記所定の領域を走査して、該所定の領域の透過電子像または二次電子像を形成する電子顕微鏡手段をさらに有することを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載のイオンビーム装置。

【請求項 7】 試料の特定部位に所定の液体金属イオンビームを照射して断面を形成する第 1 の工程と、

所定のビーム径に集束した気体イオンビームで前記断面の所定の領域を走査して、該所定の領域上のダメージ層を除去する第 2 の工程とを有することを特徴とするイオンビーム加工方法。

【請求項 8】 前記第 2 の工程は、前記気体イオンビームの前記断面への入射角度を変化させて前記ダメージ層を除去する工程を含むことを特徴とする請求

項 7 に記載のイオンビーム加工方法。

【請求項 9】 前記第 1 の工程は、前記所定の液体金属イオンビームの照射角度を変化させて前記断面を形成する工程を含むことを特徴とする請求項 7 または 8 に記載のイオンビーム加工方法。

【請求項 1 0】 前記気体イオンビームの前記断面上におけるビームスポットの大きさが、前記断面の大きさより小さいことを特徴とする請求項 7 ないし 9 のいずれか 1 項に記載のイオンビーム加工方法。

【請求項 1 1】 前記気体イオンビームの前記断面上におけるビームスポットの大きさが、前記所定の領域の大きさより小さいことを特徴とする請求項 7 ないし 9 のいずれか 1 項に記載のイオンビーム加工方法。

【請求項 1 2】 前記気体イオンビームは、不活性ガスイオンビームであることを特徴とする請求項 7 ないし 1 1 のいずれか 1 項に記載のイオンビーム加工方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、試料の特定部位にイオンビームを照射して加工を行うイオンビーム装置およびイオンビーム加工方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

イオンビーム装置として、集束イオンビーム（F I B : Focused Ion Beam）装置やイオンミリング装置が知られている。これらの装置は、例えばウェーハの欠損箇所を T E M（Transmission Electron Microscope）や S E M（Scanning Electron Microscope）などで断面観察する際の試料作製に用いられている。特に、F I B 装置は、十分に集束したイオンビームで試料表面を走査し、該走査時に発生する二次電子を検出して画像として観察しながら、欠陥などの特定部位を正確に断面加工できるため、半導体製造プロセスの評価装置として広く利用されている。

【0 0 0 3】

図 6 に、従来の F I B 装置の概略構成を示す。この F I B 装置の主要部は、イオン源 1 0 0、イオン光学系 1 0 1、二次荷電粒子検出器 1 0 2、ガス銃 1 0 3、試料ホルダー 1 0 4、試料ステージ 1 0 5 からなる。

【0 0 0 4】

イオン源 1 0 0 は、例えばガリウム (G a) に代表される液体金属イオン源である。イオン光学系 1 0 1 は、イオン源 1 0 0 からのイオンビームを集束するとともに試料 1 0 6 上で走査させるためのもので、コンデンサレンズ (静電レンズ)、ビームブランカ、可動絞り、8 極スティグメータ、対物レンズ (静電レンズ)、走査電極などがイオン源 1 0 0 側から順に配されている。二次荷電粒子検出器 1 0 2 は、集束イオンビーム (以下、単に F I B と記す。) 1 0 0 a を試料 1 0 6 上で走査した際に発生する二次荷電粒子を検出するもので、この検出結果に基づいて画像処理を行うことにより走査イオン顕微鏡 (S I M : Scanning Ion Microscope) による観察像 (S I M 像) を得ることができる。

【0 0 0 5】

試料ステージ 1 0 5 は、5 軸制御が可能なステージである。5 軸制御では、X Y Z 方向への 3 次元的な移動、X Y 平面に垂直な軸 (Z 軸) 周りの回転、チルトの制御が行われる。試料ホルダー 1 0 4 は、試料 1 0 6 を固定するためのもので、ボートと呼ばれる移動台 (不図示) の上に載置されて試料ステージ 1 0 5 上へ搬入される。試料 1 0 6 は、例えばウェーハである。ガス銃 1 0 3 は、試料 1 0 6 の表面に、保護膜としてのデポジション膜を形成するための所定のガスを吹き付けるものである。

【0 0 0 6】

次に、上述の F I B 装置を用いた具体的な試料作製手順について説明する。図 7 の (a) および (b) に、ピックアップ法 (あるいはリフトアウト法) と呼ばれる手法による T E M 試料の一連の作製手順を模式的に示す。以下、図 6 および図 7 を参照して、T E M 試料の作製手順を説明する。

【0 0 0 7】

まず、試料ステージ 1 0 5 上に試料 1 0 6 であるウェーハを固定し、予め与えられている欠損部位の位置情報に基づいて、イオン源 1 0 0 からの F I B 1 0 0

a がその欠損部位の近傍に照射されるように大凡の位置合わせを行う。続いて、F I B 1 0 0 a で欠損部位の近傍を走査し、この走査により得られる S I M 像を見ながら欠損部位の位置を特定する（位置出し）。位置出し後、ガス銃 1 0 3 によりウェーハの表面に所定のガスを吹き付けるとともに、F I B 1 0 0 a でウェーハの表面の、欠損部位を含む所定の範囲を走査することでデポジション膜（保護膜）を形成する。このデポジション膜の形成は、一般にはイオンアシストデポジション（あるいはイオンビーム C V D (Chemical Vapor Deposition)）と呼ばれており、F I B 1 0 0 a で照射した部分に選択的にデポジション膜を形成することができる。

【0 0 0 8】

続いて、図 7（a）に示すように、ウェーハの表面の欠損部位近傍を F I B 1 0 0 a で照射して大まかに加工し、さらに、その加工部分に F I B 1 0 0 a を照射して仕上げ加工を行う。この加工では、F I B 1 0 0 a は、ウェーハの表面に対して法線方向から照射されるので、F I B が照射された領域は表面が除々に削れ、最終的に図 7（b）に示すような断面 1 0 7 a を得る。断面 1 0 7 a 部を上部から見た厚さをどの程度まで薄くするかは試料の材質と使用する T E M の加速電圧によって異なる。例えば、S i 系半導体試料を加速電圧 2 0 0 k V の T E M で格子像の観察をする場合は 0. 1 μ m 以下とする必要がある。また、T E M によるトモグラフィーで 3 D 解析等を行う場合は、試料の厚みは 0. 5 μ m 程度に仕上げる。

【0 0 0 9】

最後に、試料ステージ 1 0 5 のチルト角を制御することにより F I B 1 0 0 a のウェーハへの入射角度を調節した後、F I B 1 0 0 a による加工により、断面 1 0 7 a が形成された部分の周りに図 7（b）に示すような切り込み 1 0 7 b（図 7（b）中の破線で示している部分）を形成する。この切り込み 1 0 7 b に沿って取り出される、断面 1 0 7 a を含む部分が T E M 試料 1 0 7 となる。

【0 0 1 0】

T E M 試料 1 0 7 の取り出しでは、専用装置（マニピュレータ）を使用する。図 8 の（a）および（b）に、ピックアップ法による T E M 試料の取り出しの一

例を示す。

【0011】

まず、図7の手順で作製されたTEM試料107の片側の断面107aに、ガラス材よりなるプローブ108の先端を近づける。プローブ108の先端が断面107aにある程度近づくと、図8(a)に示すように、TEM試料107がプローブ108の先端に静電気によって吸着する。そして、先端にTEM試料107が吸着した状態のままプローブ108を、別に用意された粘着性を有する有機薄膜109上に移動し、図8(b)に示すように、先端に吸着したTEM試料107を有機薄膜109上に置く。TEM試料107は、有機薄膜109の粘着性により固定されて、プローブ108の先端から離れる。

【0012】

上記のようにしてTEM試料107が固定された有機薄膜109をFIB装置とは別のTEM装置に搬入し、そこで、TEM試料107の断面107aの観察を行う。最近では、FIB装置に、走査電子顕微鏡やエネルギー分散型X線検出器等の観察装置やマニピュレータなどを組み込んだ複合形FIB装置も提供されており、試料作製から観察を1台のFIB装置で行えるようになっている。

【0013】

以上説明したピックアップ法によるTEM試料の作製手法の他、ダイシングソーによりウェーハを割って特定箇所の小片化試料を作製し、この小片化試料を専用試料ホルダーに固定してFIBにより断面加工することでTEM試料を作製する手法もある。

【0014】

しかしながら、上述した試料作製のいずれの手法においても、FIBによる断面加工の際に、加工面(断面)にFIBによるダメージを受ける。図9(a)は、図7(b)のTEM試料107の部分の断面図で、図9(b)はその部分拡大図である。図9中、デポジション膜110は、FIBによる断面加工時に形成した保護膜である。

【0015】

FIBによる断面加工では、TEM試料107の断面107aの表面にFIB

によるダメージを受けるとともにFIBに含まれているイオン（例えばGaイオン）の一部が注入されて、図9（b）に示すようなダメージ層（破碎層）111が形成される。ダメージ層111は、試料自体に元々含まれていた元素と注入されたイオン（Ga）とが混在したアモルファスな状態になっている。このように観察したい面（断面107a）に不要なダメージ層111が形成されてしまうと、そのダメージ層111が妨げとなって、良好なTEM観察、特に鮮明な格子像を観察することができない。このようなダメージ層の問題は、SEM試料作製においても同様に生じる。

【0016】

そこで、低エネルギーのイオンビーム、例えばアルゴン（Ar）イオンビームを用いたエッチング（イオンミリング）によりダメージ層を除去する、という手法が提案されている。例えば、特許第3117836号（特開平6-260129号）の公報には、イオミリング装置が組み込まれた、ダメージ層の除去が可能なFIB装置が開示されている。

【0017】

図10は、上記公報に記載されたFIB装置の概略構成を示す模式図である。このFIB装置の主要部は、液体金属イオンビーム照射装置200、気体イオンビーム照射装置201、試料ステージ202からなる。

【0018】

液体金属イオンビーム照射装置200は、図6に示したようなイオン光学系を備え、液体金属イオン源から引き出されて十分に集束されたイオンビーム（FIB）で試料ステージ202上に載置された試料203の表面の所定の部分を走査することができる。液体金属イオン源は、例えばGaイオン源である。

【0019】

気体イオンビーム照射装置201は、気体イオン源から引き出された気体イオンビームで断面加工された部分を含む所定の範囲の領域を一様に照射するものである。気体イオン源としては、例えばArイオン源がある。なお、気体イオンビームはFIBのように収束する必要はないため、気体イオンビーム照射装置201には、液体金属イオンビーム照射装置200に備えられているようなイオンビ

ームを十分に収束するイオン光学系は設けられていない。イオンビームを十分に収束するようなイオン光学系は、非常に高価であることから、これを使用しないことで低コスト化を実現している。

【0020】

上記のFIB装置では、まず、液体金属イオンビーム照射装置200からのFIBで試料203を断面加工する。この断面加工の際に、図9(b)に示したようなダメージ層が断面に形成される。断面加工後、気体イオンビーム照射装置201からの気体イオンビームを、断面加工部分を含む領域に一様に照射して断面上のダメージ層をエッチング除去する。

【0021】

なお、気体イオンビームの照射によっても断面はダメージを受けるが、その量は小さい。液体金属イオンビームの場合のダメージ層の厚さが20～30nmであるのに対して、気体イオンビームの場合のダメージ層の厚さは数nm程度であるので、そのダメージ層がTEMやSEMにおける断面観察で問題になることはない。

【0022】

【発明が解決しようとする課題】

上述したように、FIBで試料を断面加工した場合、加工された断面にダメージ層ができるため、TEMやSEMなどにおいて良好な断面観察を行うことができないという問題がある。

【0023】

FIBによる断面加工後に、気体イオンビームでダメージ層を除去することで上記の問題は解決されるが、この場合には、以下に説明するような、気体イオンビームの照射による二次粒子の再付着という新たな問題が生じる。

【0024】

図11の(a)～(c)に、二次粒子が再付着する過程を模式的に示す。図11(a)に示すように、断面に形成されたダメージ層111を除去するために、Arイオンビームが照射される。このArイオンビームの照射範囲は、断面とこれに隣接する隣接面204を含む。Arイオンビームが隣接面204に照射され

ると、図 1-1 (b) に示すように、隣接面 204 から二次粒子 205 が放出される。この隣接面 204 から放出された二次粒子 205 は、ダメージ層 111 が除去された後の断面に付着し、図 11 (c) に示すような再付着層 206 が形成される。再付着層 206 は成分が不明であり、良好な断面観察を妨げる。

【0025】

本発明の目的は、上記の各問題を解決し、観察面（断面）への二次粒子の再付着を防止することのできる、イオンビーム装置およびイオンビーム加工方法を提供することにある。

【0026】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明のイオンビーム装置は、試料の特定部位に所定の液体金属イオンビームを照射して断面を形成する液体金属イオンビーム照射手段と、所定のビーム径に集束した気体イオンビームで前記断面の所定の領域を走査して、該所定の領域上のダメージ層を除去する気体イオンビーム照射手段とを有することを特徴とする。

【0027】

また、本発明のイオンビーム加工方法は、試料の特定部位に所定の液体金属イオンビームを照射して断面を形成する第 1 の工程と、所定のビーム径に集束した気体イオンビームで前記断面の所定の領域を走査して、該所定の領域上のダメージ層を除去する第 2 の工程とを有することを特徴とする。

【0028】

上記のとおりの本発明においては、所定の液体金属イオンビームを照射することで形成された断面の所定の領域、具体的には SEM 観察または TEM 観察が行われる観察領域を所定のビーム径に集束した気体イオンビームで走査することでその領域上のダメージ層が除去される。断面には側壁面および底面が隣接しているが、これらの隣接面は観察領域には隣接していない。また、気体イオンビームを所定のビーム径に集束したことで、気体イオンビームの照射範囲を観察領域に限定することが可能となっている。このようなことから、本発明では、気体イオンビームは基本的に観察領域にのみ照射され、隣接面（側壁面および底面）へは

照射されない。よって、従来のように、気体イオンビームが隣接面に照射されて二次粒子が放出され、この放出された二次粒子が、ダメージ層が除去された観察領域に再付着して問題となる、といったことはない。

【0 0 2 9】

【発明の実施の形態】

次に、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

【0 0 3 0】

図 1 に、本発明の一実施形態である F I B 装置の主要構成を模式的に示す。この F I B 装置は、液体金属イオンビーム照射装置 1、二次荷電粒子検出器 2、ガス銃 3、試料 6 を固定する試料ホルダー 4、試料ステージ 5、気体イオンビーム照射装置 7 からなる。

【0 0 3 1】

液体金属イオンビーム照射装置 1 は、液体金属イオン源と、この液体金属イオン源から引き出された液体金属イオンビームを十分に集束するとともに試料 6 上で走査させるためのイオン光学系とを備える既存の装置である。イオン光学系は、図 6 示したイオン光学系 1 0 1 と同様のもので、液体金属イオン源側からコンデンサレンズ（静電レンズ）、ビームブランカ、可動絞り、8 極スティグメータ、対物レンズ（静電レンズ）、走査電極などが順次に配されている。液体金属イオン種としては、例えばガリウム（G a）を用いることができる。

【0 0 3 2】

気体イオンビーム照射装置 7 は、気体イオン源と、この気体イオン源から引き出された気体イオンビームを十分に集束するとともに試料 6 上で走査させるためのイオン光学系とを備える。イオン光学系は、上記液体金属イオンビーム照射装置 1 に用いられているイオン光学系とほぼ同様な構成のものである。気体イオン種としては、アルゴン、酸素、ヘリウム、ネオン、キセノン、クリプトン、ラドン等がある。気体イオンビーム照射装置 7 の光軸は、液体金属イオンビーム照射装置 1 の光軸と所定の位置で交わるようになっている。

【0 0 3 3】

ガス銃 3、試料ホルダー 4 および試料ステージ 5 は、図 6 に示したものと同一

である。二次荷電粒子検出器 2 は、液体金属イオンビームおよび気体イオンビームを試料 6 に照射した際に発生する二次荷電粒子を検出するものである。この検出結果に基づいて画像処理を行うことにより、液体金属イオンビームによるエッチング加工時および気体イオンビームによるエッチング除去時のそれぞれにおける S I M 像が得られる。

【0 0 3 4】

次に、本実施形態の F I B 装置を用いた試料作製を具体的に説明する。以下の説明では、ピックアップ法による T E M 試料の作製手順、ダイシングソーにより作製された小片化試料からの T E M 試料の作製手順の 2 つを例に挙げて具体的に説明する。

【0 0 3 5】

(1) ピックアップ法による T E M 試料の作製手順：

まず、液体金属イオンビーム照射装置 1 からの集束された液体金属イオンビームで試料 6 であるウェーハの特定箇所（欠損箇所）の近傍を走査して断面を形成する（断面加工）。この断面加工は、図 7 の（a）、（b）に示した手順と基本的に同じであるので、ここでは、その詳細な説明は省略する。

【0 0 3 6】

断面加工（図 7（b）の加工）後、気体イオンビーム照射装置 7 からの集束された気体イオンビームで試料 6 の断面の所定の領域（観察領域）を走査し、その所定の領域上のダメージ層（不図示）を除去する。図 2 に、気体イオンビームによる断面の照射を模式的に示す。

【0 0 3 7】

図 2 において、断面 6 a は、試料 6 であるウェーハの特定箇所を液体金属イオンビーム照射装置 1 からの集束された液体金属イオンビームで加工した部分で、その大きさは例えば $10\ \mu\text{m}$ （縦（深さ）） $\times 10\ \mu\text{m}$ （幅）である。この断面の中央に位置する観察領域 6 b（破線で示した斜線部）が T E M 観察の行われる領域で、その大きさは例えば $5\ \mu\text{m}$ （縦（深さ）） $\times 5\ \mu\text{m}$ （幅）である。断面 6 a の下部（底部）には、図 7（b）で示した切り込み 1 0 7 b に対応する切り込み 8（破線）が形成されており、この切り込み 8 によって区切られた部分が T

EM試料として取り出される。

【0038】

気体イオンビーム照射装置7からの集束された気体イオンビームは断面6aに対して斜めに入射するようになっており、そのビームスポット7aの大きさは、断面6aの大きさより小さく、より望ましくは、観察領域6bの大きさより小さい。具体的には、観察領域6bの大きさが $5\mu\text{m}$ （縦（深さ）） $\times 5\mu\text{m}$ （幅）である場合、集束された気体イオンビームの、断面6a上におけるビーム径（ガウス分布における半値幅で与えられる）は、直径 $3\mu\text{m}$ 程度が望ましい。このビームスポット7aで観察領域6bを走査することで、観察領域6b上のダメージ層を除去する。

【0039】

図3の(a)～(c)に、集束された気体イオンビームによるダメージ層の除去過程を模式的に示す。図3の(a)～(c)は、図2に示した断面6aのA-A'断面図に対応する。

【0040】

図3(a)中、デポジション膜10は、液体金属イオンビーム照射装置1からの集束された液体金属イオンビームで断面加工を行う際に形成した保護膜である。断面6a上にはダメージ層11が形成されており、このダメージ層11のうちの観察領域6b上の部分を、気体イオンビーム照射装置7からの集束された気体イオンビーム（ビーム径 $3\mu\text{m}$ ）で走査してエッチング除去する（図3の(b)および(c)参照）。同様な処理を、反対側の面に対しても行う。反対側の面への気体イオンビームの照射は、試料ステージ5を 180° 回転させることで行うことができる。

【0041】

上記のエッチング除去では、集束された気体イオンビームで観察領域6bのみを照射してダメージ層11を除去するようになっているため、ダメージ層11を除去する際に、気体イオンビームが断面6aに隣接する隣接面6cに照射されることはない。このため、隣接面6cにおいて、従来のような気体イオンビームの照射による二次粒子の放出は生じない。よって、ダメージ層11が除去された観

、観察領域 6 b の面に、従来のような隣接面 6 c からの二次粒子による再付着層が形成されることはない。

【0042】

以上のようにして断面加工が施され、ダメージ層が除去された TEM 試料部は、図 8 の (a) および (b) に示したプローブによる TEM 試料の取り出しと同じ手法で、ウェーハから取り出されて有機性薄膜に粘着固定される。

【0043】

なお、図 3 の例では、隣接面として断面 6 a の下部（底部）に位置する隣接面 6 c のみを示したが、実際は、図 2 に示すように、断面 6 a の両側にも隣接面が存在する。本実施形態では、気体イオンビームによるダメージ層の除去に際して、これら隣接面にも気体イオンビームが照射されることはない。

【0044】

また、取り出された TEM 試料部は、有機性薄膜に粘着固定せずに、専用の試料ホルダーに固定するようにしてもよい。この場合は、TEM 試料部の再加工が可能となる。

【0045】

さらに、集束された気体イオンビームの断面 6 a 上におけるスポットサイズを、より大きなサイズ（ただし、断面 6 a より小さい）に設定すれば、より短時間にダメージ層の除去を行うことができる。なお、この場合は、気体イオンビームの一部が隣接面に照射されて二次粒子が放出されるが、その放出量は従来における二次粒子の放出量に比べて格段に少ない。したがって、ダメージ層が除去された観察領域に再付着層が形成されても、その量（厚さ）は極わずかであるため、断面観察が妨げられることはない。

【0046】

(2) 小片化試料からの TEM 試料の作製手順：

図 4 の (a) ～ (c) に、小片化試料からの TEM 試料の作製過程を模式的に示す。

【0047】

試料 6 であるウェーハの特定箇所（欠損部位）を含む部分をダイシングソーに

より切り出して予備加工を施し、図 4 (a) に示すような断面形状が凸形状の小片化試料 2 0 を作製する。小片化試料 2 0 の凸部の面がウェーハの表面であり、以降の説明では、この凸部の面を小片化試料 2 0 の表面と呼ぶ。

【0 0 4 8】

既存の保持部材に小片化試料 2 0 を保持し、これを試料ホルダー 4 にクランプ固定して試料ステージ 5 上に搬入する。試料ステージ 5 上で、液体金属イオンビーム照射装置 1 からの集束された液体金属イオンビームが小片化試料 2 0 の表面に対して略垂直に入射するように試料ステージ 5 の位置、チルト角を調整する。

【0 0 4 9】

続いて、ガス銃 3 を用いて、小片化試料 2 0 の表面に所定のガスを吹き付けるとともに、集束された液体金属イオンビームで小片化試料 2 0 の表面の加工領域を含む範囲を走査することで、図 4 (b) に示すようなデポジション膜（保護膜）2 1 を形成する。

【0 0 5 0】

さらに続いて、集束された液体金属イオンビームで小片化試料 2 0 の表面の加工領域を走査する。液体金属イオンビームは、小片化試料 2 0 の表面に対して略垂直となるように照射されるので、液体金属イオンビームが照射された領域は表面が徐々に削れ、最終的に図 4 (c) に示すような断面 2 2 を得る。この断面 2 2 は、小片化試料 2 0 の凸部が両側から削り取られた状態になっており、その厚さは、0. 1 ~ 0. 5 μ m 程度である。

【0 0 5 1】

最後に、気体イオンビーム照射装置 7 からの集束された気体イオンビームが断面 2 2 に対して略垂直に入射するように試料ステージ 5 のチルト角を調節し、気体イオンビームで断面 2 2 の所定の領域（TEM 観察領域）を走査することで、該 TEM 観察領域上の、液体金属イオンビームによる断面加工の際に形成されたダメージ層をエッチング除去する。同様な処理を、反対側の断面に対しても行う。反対側の断面への気体イオンビームの照射は、試料ステージ 5 を 1 8 0° 回転させることで行うことができる。

【0 0 5 2】

本例においても、観察領域は、断面 2 2 の中央に位置しており、断面 2 2 に隣接する隣接面（底面および側壁面）には隣接していない。したがって、ダメージ層のエッチング除去に際して、上述したピックアップの場合と同様、集束された気体イオンビームは観察領域にのみ照射され、隣接面に照射されることはない。このため、隣接面において、従来のような気体イオンビームの照射による二次粒子の放出は生じない。よって、ダメージ層が除去された観察領域の面に、従来のような隣接面からの二次粒子による再付着層が形成されることはない。

【0 0 5 3】

また、本例においても、上述したピックアップの場合と同様、集束された気体イオンビームの断面上におけるスポットサイズを、より大きなサイズ（ただし、断面 2 2 より小さい）に設定すれば、より短時間にダメージ層の除去を行うことができる。

【0 0 5 4】

以上説明したピックアップ法や小片化試料を用いた T E M 試料の作製手法における、集束された気体イオンビームによるダメージ層の除去は、S E M 試料の作製にも適用することができる。S E M 試料の場合は、例えばウェーハの特定箇所に液体金属イオンビームにより凹状の穴をあけることで断面が形成され、その断面の所定の領域（S E M 観察する領域）を集束された気体イオンビームで走査することでダメージ層の除去が行われる。また、小片化試料から S E M 試料を作製する場合は、液体金属イオンビームにより小片化試料の片面にのみ断面が形成され、その断面の所定の領域（S E M 観察する領域）を集束された気体イオンビームで走査することでダメージ層の除去が行われる。

【0 0 5 5】

ところで、液体金属イオンビームによる断面加工および気体イオンビームによるダメージ層の除去に際しては、断面にスジが生じることが知られている。例えば、表面に凹凸を有する試料に対して液体金属イオンビームをその表面に略垂直な方向から照射して断面加工を行う場合、凹凸部の境界（角部）と平坦な部分における加工速度（エッチング速度）が異なるため、形成された断面に表面の凹凸に応じたスジが生じる。また、断面加工領域に、材質の異なる領域（境界）が

存在する場合も、それら領域における加工速度（エッチング速度）の違いによるスジが生じる。このようなスジは、TEMやSEMを用いた良好な断面観察を妨げる。

【0056】

本実施形態のFIB装置では、以下に挙げる手順1、2のうちのいずれかを採用することで、上記のようなスジを取り除き、良好な断面観察を実現するようになっている。

【0057】

<手順1>

(1-1) 集束された液体金属イオンビームを試料表面に第1の照射方向（例えば、試料表面に垂直な方向）から照射して断面加工を行う。この断面加工の際に、スジが生じる。

【0058】

(1-2) スジを取り除くために、上記断面加工により得られた断面に対して、集束された液体金属イオンビームを第1の照射方向とは異なる第2の照射方向から照射してエッチングする。これにより、断面に形成されたスジが取り除かれる。

【0059】

(1-3) スジが取り除かれた断面に対して、集束された気体イオンビームを第3の照射方向から照射して断面の観察領域上のダメージ層を除去する。このダメージ層の除去工程で、スジが形成される。

【0060】

(1-4) 上記(1-3)の工程で形成されたスジを除去するために、断面に対して、集束された気体イオンビームを第3の照射方向とは異なる第4の照射方向から照射してエッチングする。これにより、断面に形成されたスジが取り除かれる。

【0061】

上記の(1-1)の工程および(1-2)の工程は、同時に行ってもよい。すなわち、第1の照射方向と第2の照射方向とを切り替えながら断面加工を行うよ

うにしてもよい。同様に、上記の（１－３）の工程および（１－４）の工程も、同時に行ってもよい。この場合は、第３の照射方向と第４の照射方向とを切り替えながらダメージ層の除去を行うことになる。

【 0 0 6 2 】

<手順 2>

（２－１）集束された液体金属イオンビームを試料表面に第１の照射方向（例えば、試料表面に垂直な方向）から照射して断面加工を行う。この断面加工の際に、スジが生じる。

【 0 0 6 3 】

（２－２）上記断面加工により得られた断面に対して、集束された気体イオンビームを第１の照射方向とは異なる第２の照射方向から照射して断面上のダメージ層を除去する。このダメージ層の除去工程では、（２－１）で生じたスジが除去されるが、気体イオンビームの照射により新たなスジが断面に形成される。

【 0 0 6 4 】

（２－３）上記（２－２）の工程で形成されたスジを除去するために、断面に対して、集束された気体イオンビームを第２の照射方向とは異なる第３の照射方向から照射してエッチングする。これにより、断面に形成されたスジが取り除かれる。

【 0 0 6 5 】

上記の（２－２）の工程および（２－３）の工程は、同時に行ってもよい。すなわち、第２の照射方向と第３の照射方向とを切り替えながらダメージ層の除去を行うようにしてもよい。この場合は、断面加工時に生じたスジとダメージ層除去の際に生じるスジとを同時に取り除くことになる。

【 0 0 6 6 】

上述の手順１および手順２における照射方向の切り替えは、試料ステージのチルト角を制御することにより行うことができる。

【 0 0 6 7 】

以上説明したＦＩＢ装置は一例であって、装置構成および加工手順は、図示したものに限定されるものではなく、適宜変更可能である。例えば、ＦＩＢ装置に

SEMやTEMなどの観察用の装置やマンピュレータなどを組み込むことも可能である。

【0068】

図5に、図1に示したFIB装置にSEMによる断面観察が可能な機能を組み込んだ複合装置の概略構成を示す。この複合装置は、図1に示した構成において、試料6に形成された断面を電子ビームで走査する電子ビーム照射装置30と、その電子ビームの走査により生じる断面からの二次電子を検出する二次電子検出器31とを加えたものである。

【0069】

試料6の特定部位に形成された断面をSEM観察する場合は、電子ビーム照射装置30からの電子ビームがその断面に対して所定の角度で入射するように試料ステージ5のチルト角を制御する。そして、電子ビームで断面を走査し、この走査によって断面から放出される二次電子を二次電子検出器8で検出する。この二次電子検出器8の出力に基づいてSEM像を得る。

【0070】

以上説明した本発明のイオンビーム装置において、気体イオンビームの加速電圧は数10Vから10kVが一般的であるが、ダメージを少なくするために低いほどよい。ただし、低い加速電圧にすると、エッチング速度が遅くなるため、実用的な時間でエッチングの終了する加速電圧を設定することが望ましい。

【0071】

また、集束された気体イオンビームは、断面に対して略垂直または斜めに入射するようになっているが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、試料の表面に対してその法線方向から液体金属イオンビームを照射して断面加工を施した場合であれば、集束された気体イオンビームを同じ法線方向から照射するようにして断面の所定の領域（TEM観察領域またはSEM観察領域）上のダメージ層をエッチング除去することも可能である。この場合は、気体イオンビームの一部が隣接面（底面）に照射されるため、隣接面にて二次粒子が放出されるが、その放出量は従来における放出量に比べて格段に少ない。したがって、ダメージ層が除去された部分に再付着層が形成されても、その量（厚さ）は極わずかで

あるため、断面観察が大きく妨げられることはない。

【0 0 7 2】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、ダメージ層を除去する際に、観察面（断面）に隣接面からの二次粒子の再付着層が形成されることはないので、SEM やTEMにおける良好な断面観察を行うことができる、TEM試料やSEM試料を提供することができる、という効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の一実施形態であるFIB装置の主要構成を示すブロック図である。

【図 2】

気体イオンビームによる断面の照射を示す模式図である。

【図 3】

(a) ～ (c) は、集束された気体イオンビームによるダメージ層の除去過程を示す模式図である。

【図 4】

(a) ～ (c) は、小片化試料からのTEM試料の作製過程を示す模式図である。

【図 5】

図 1 に示すFIB装置にSEM機能を組み込んだ複合装置の概略構成を示すブロック図である。

【図 6】

従来のFIB装置の概略構成を示す模式図である。

【図 7】

(a) および (b) は、ピックアップ法によるTEM試料の作製を説明するための模式図である。

【図 8】

(a) および (b) は、ピックアップ法によるTEM試料の取り出しを説明するための模式図である。

【図 9】

(a) は、図 7 (b) に示す TEM 試料の部分の断面図、(b) は (a) の部分拡大図である。

【図 1 0】

特開平 6 - 2 6 0 1 2 9 号公報に記載された F I B 装置の概略構成を示す模式図である。

【図 1 1】

(a) ~ (c) は、再付着層の形成過程を示す模式図である。

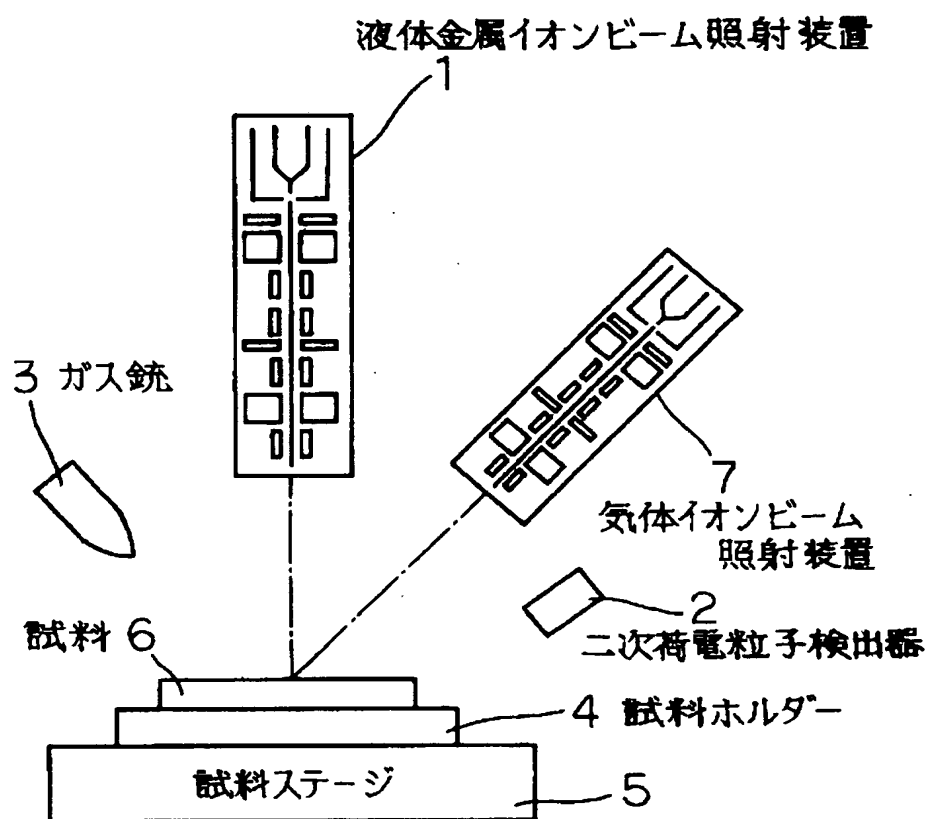
【符号の説明】

- 1 液体金属イオンビーム照射装置
- 2 二次荷電粒子検出器
- 3 ガス銃
- 4 試料ホルダー
- 5 試料ステージ
- 6 試料
- 6 a、2 2 断面
- 6 b 観察領域
- 6 c 隣接面
- 7 気体イオンビーム照射装置
- 7 a 気体イオンビームスポット
- 8 切り込み
- 1 0、2 1 デポジション膜
- 1 1 ダメージ層
- 2 0 小片化試料
- 3 0 電子ビーム照射装置
- 3 1 二次電子検出器

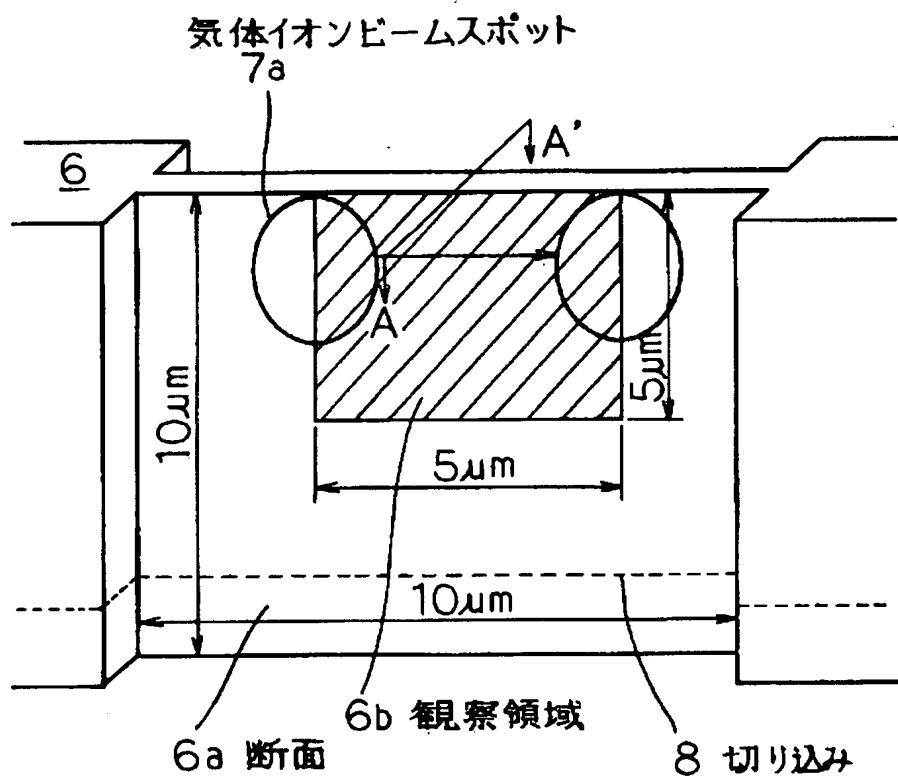
【書類名】

図面

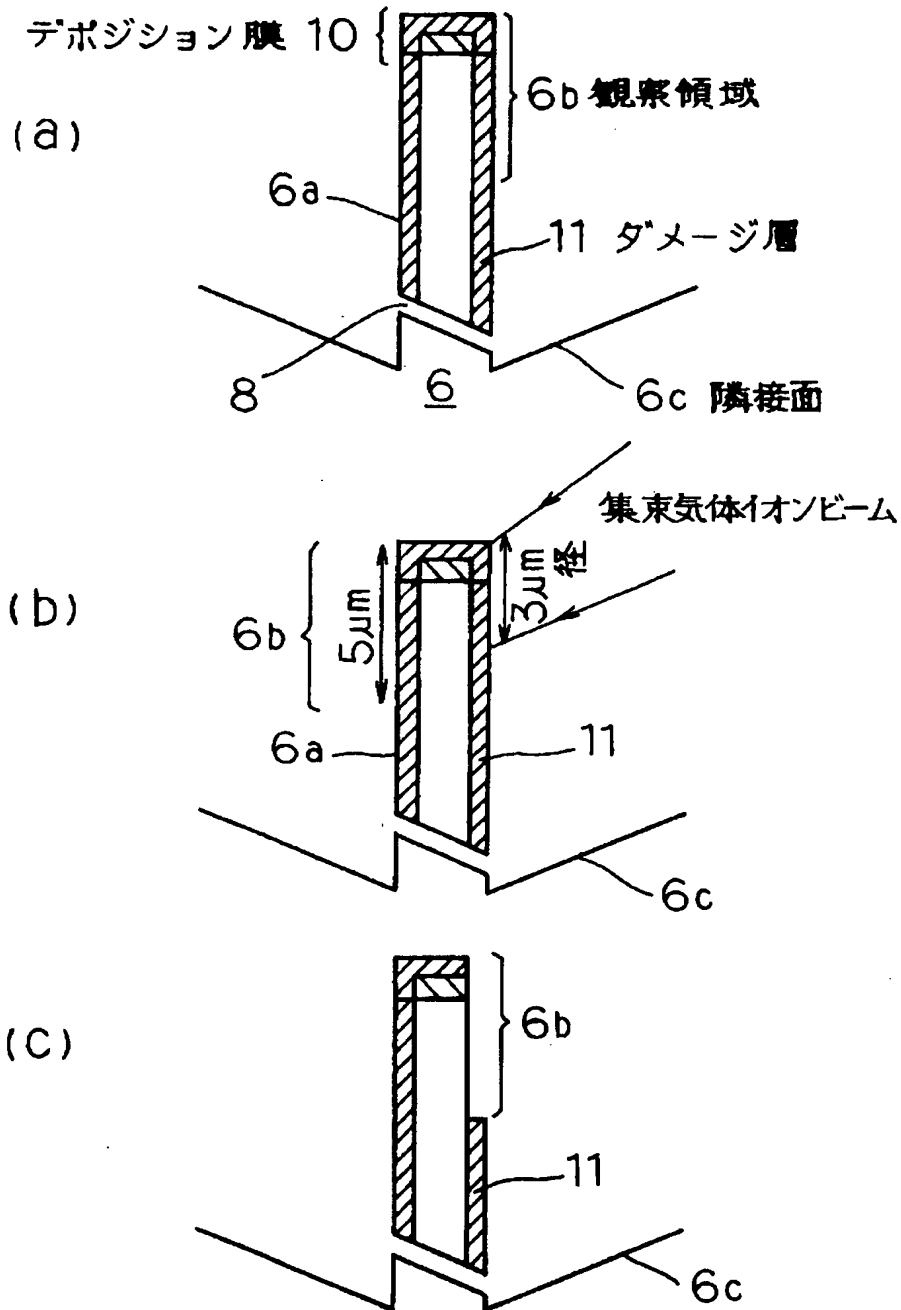
【図 1】



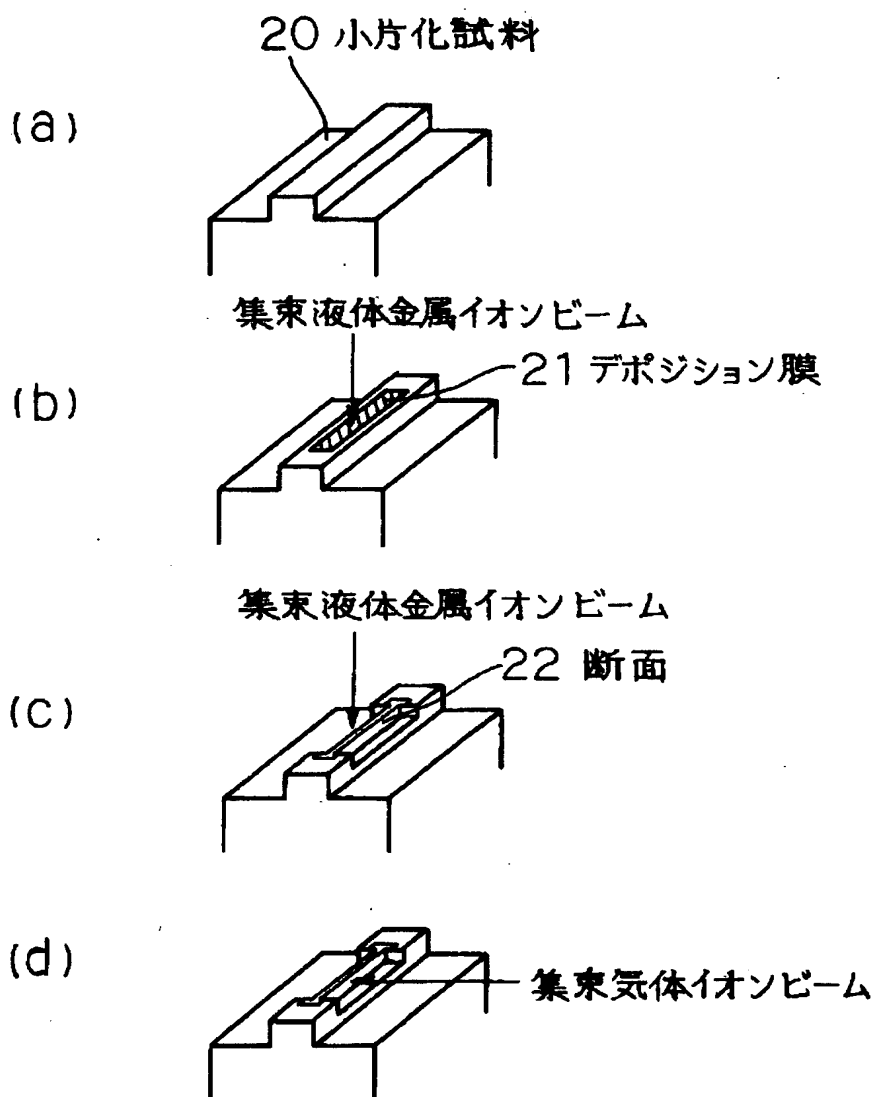
【図 2】



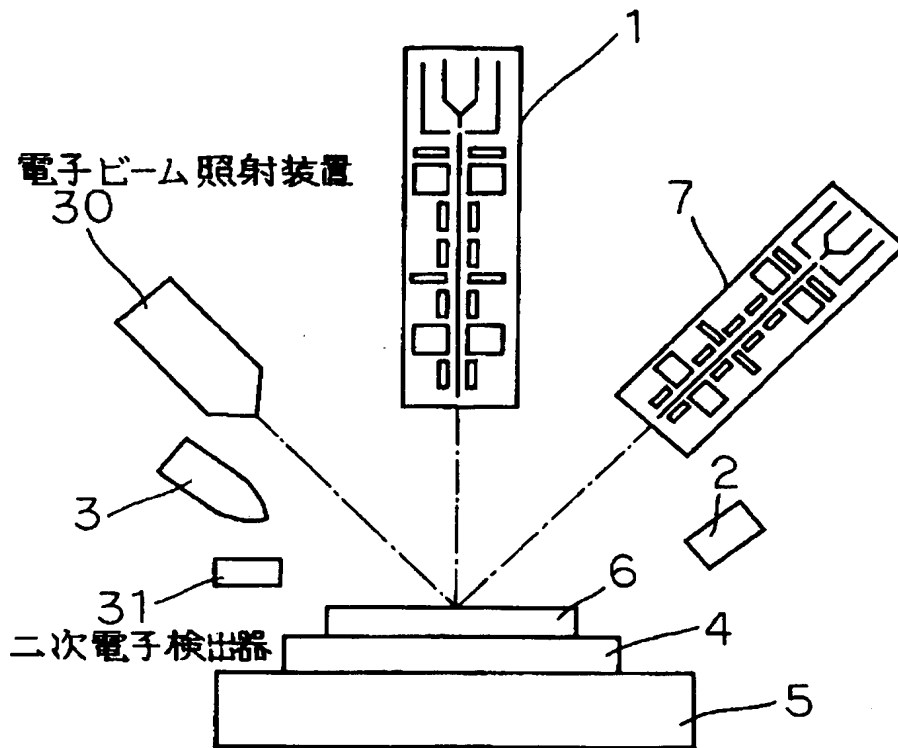
【図 3】



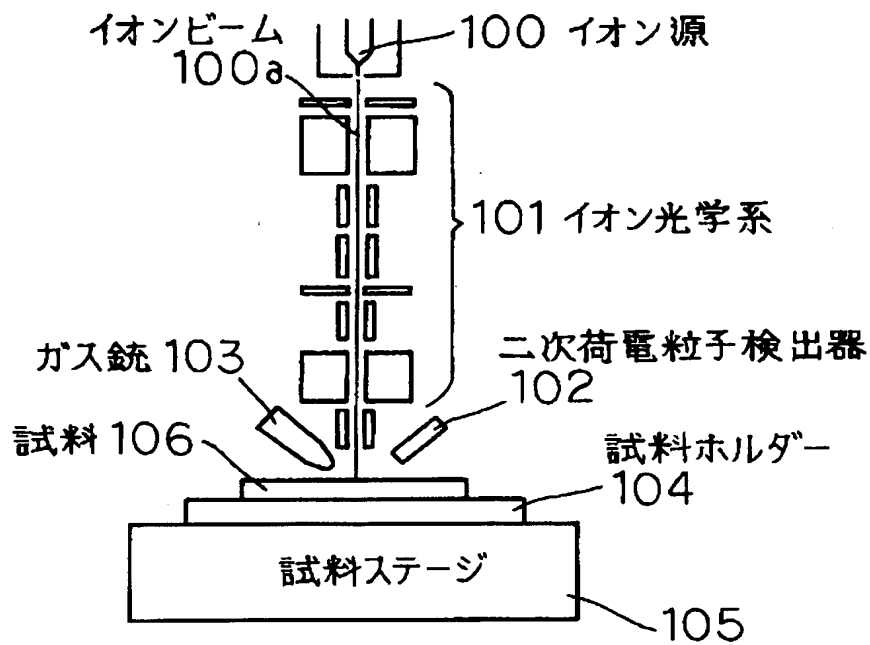
【図 4】



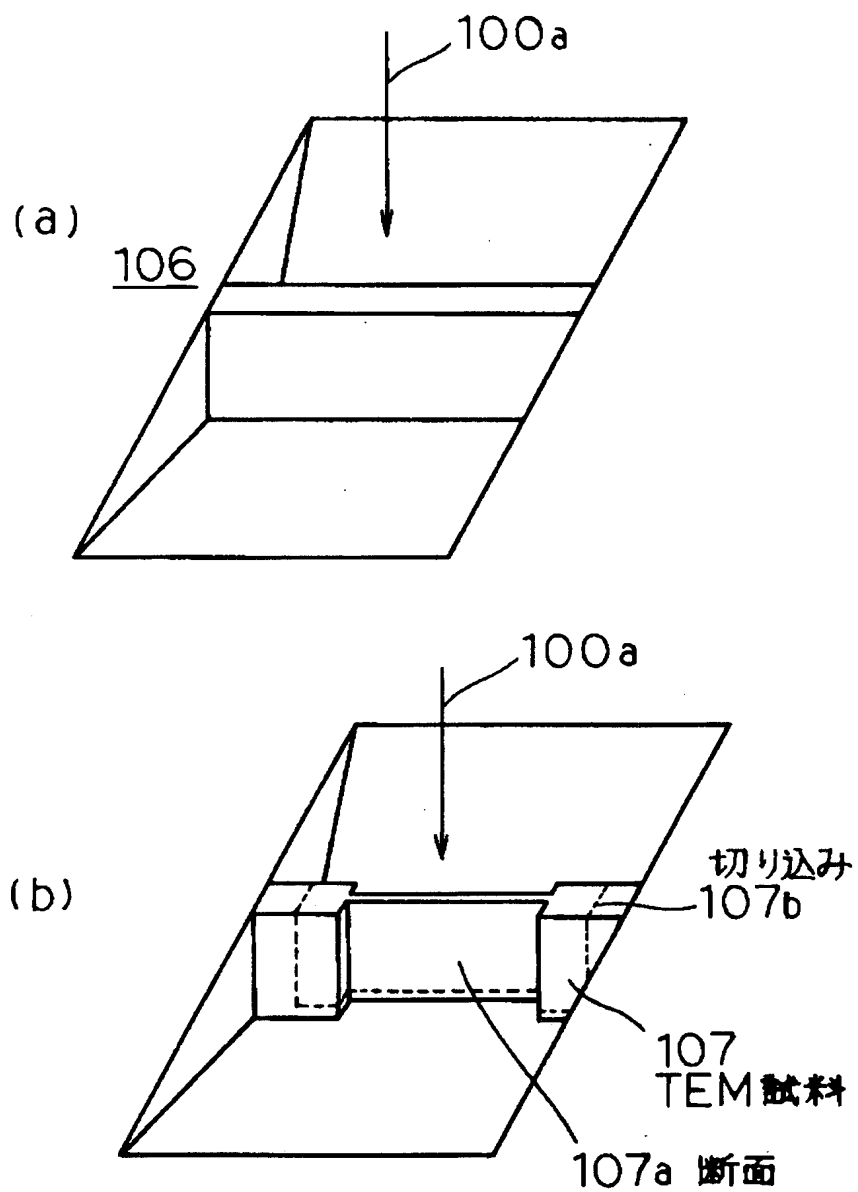
【図 5】



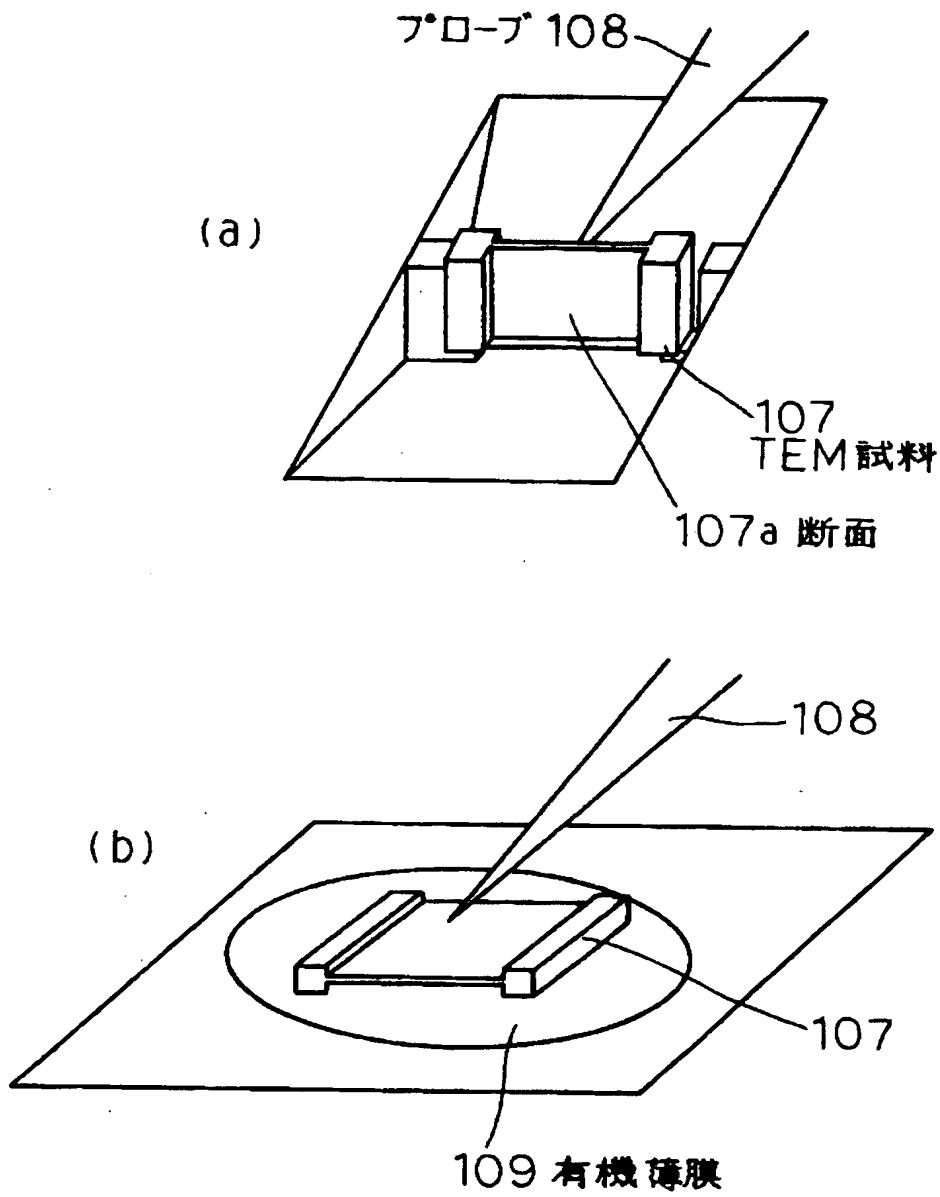
【図 6】



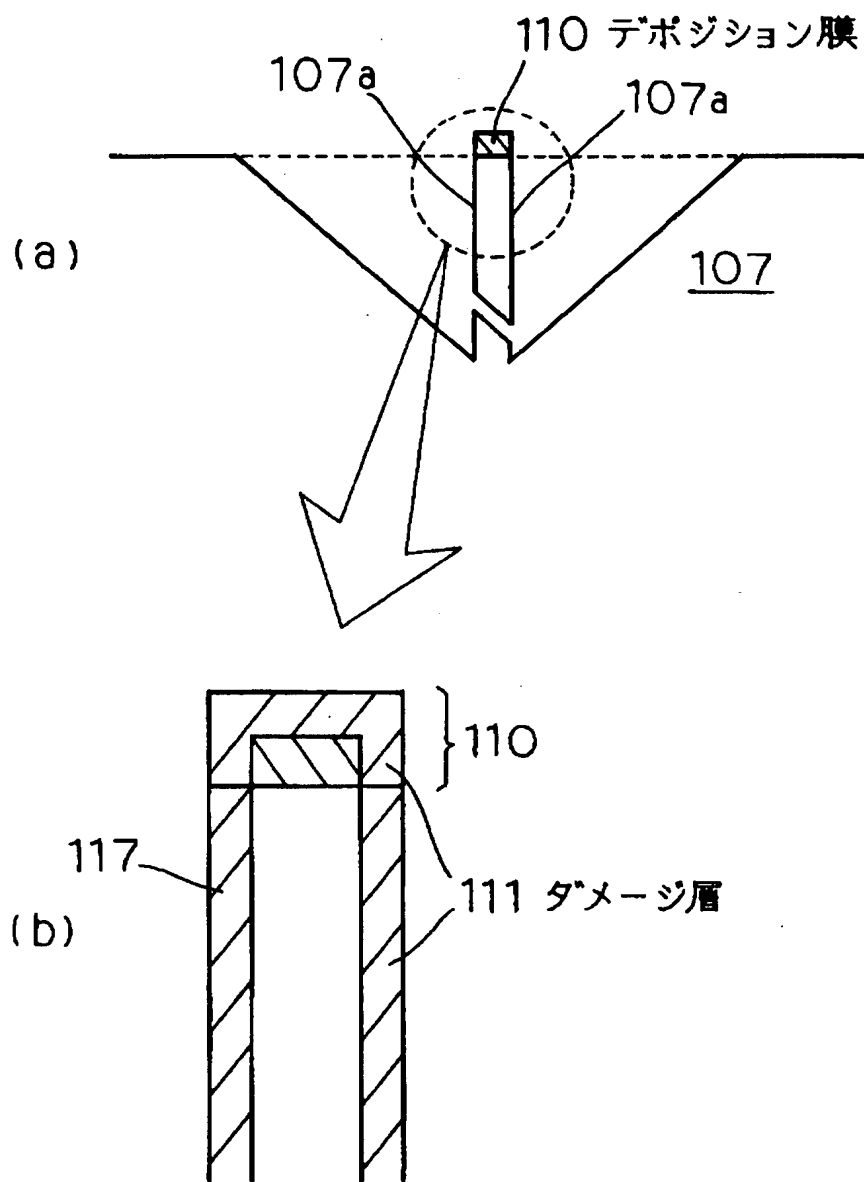
【図 7】



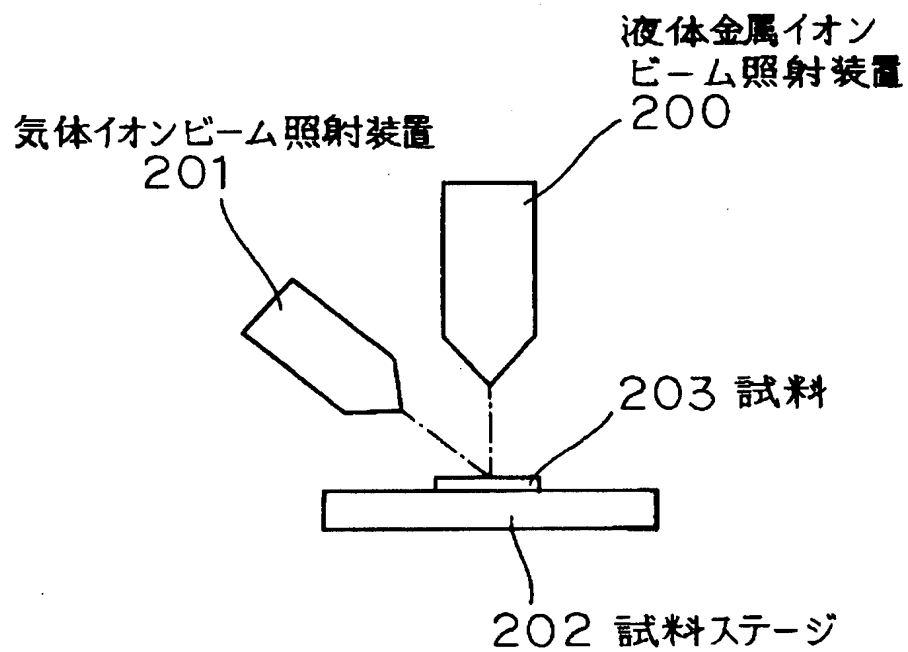
【図 8】



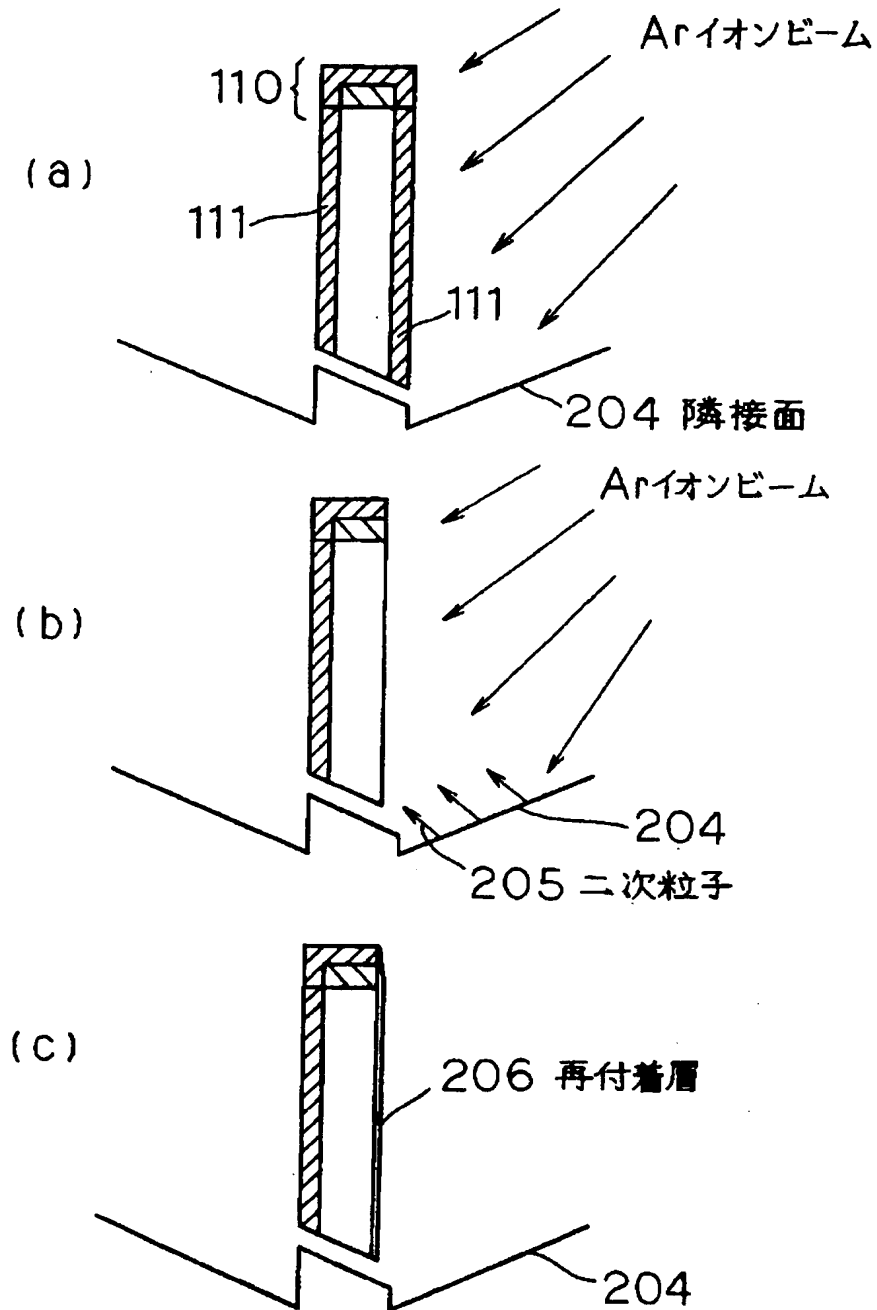
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 観察面（断面）への二次粒子の再付着を防止することのできるイオンビーム装置を提供する。

【解決手段】 試料 6 の特定部位に所定の液体金属イオンビームを照射して断面を形成する液体金属イオンビーム照射装置 1 と、所定のビーム径に集束した気体イオンビームで上記断面の所定の領域（観察領域）を走査して、該所定の領域上のダメージ層を除去する気体イオンビーム照射装置 7 とを有する。

【選択図】 図 1

【書類名】 出願人名義変更届（一般承継）
【整理番号】 02000677
【提出日】 平成16年 5月26日
【あて先】 特許庁長官 殿
【事件の表示】
【出願番号】 特願2002-243210
【承継人】
【識別番号】 503460323
【氏名又は名称】 エスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社
【代表者】 船本 宏幸
【承継人代理人】
【識別番号】 100079212
【弁理士】
【氏名又は名称】 松下 義治
【提出物件の目録】
【包括委任状番号】 0401441
【物件名】 承継人であることを証する書面 2
【援用の表示】 承継人であることを証する書面（承継証明書）は同日付提出の平成5年特許願第040318号の出願人名義変更届（手続補足書）に添付されたものを、登記簿謄本は平成16年1月20日付提出の平成10年074663号の出願人名義変更届（手続補足書）に添付のものを援用致します。

特願 2 0 0 2 - 2 4 3 2 1 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 2 3 2 5]

1. 変更年月日 1 9 9 7 年 7 月 2 3 日
[変更理由] 名称変更
住 所 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地
氏 名 セイコーインスツルメンツ株式会社
2. 変更年月日 2 0 0 4 年 9 月 1 0 日
[変更理由] 名称変更
住 所 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地
氏 名 セイコーインスツル株式会社

特願 2 0 0 2 - 2 4 3 2 1 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [5 0 3 4 6 0 3 2 3]

1. 変更年月日	2 0 0 3 年 1 2 月 1 5 日
[変更理由]	新規登録
住 所	千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地
氏 名	エスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社